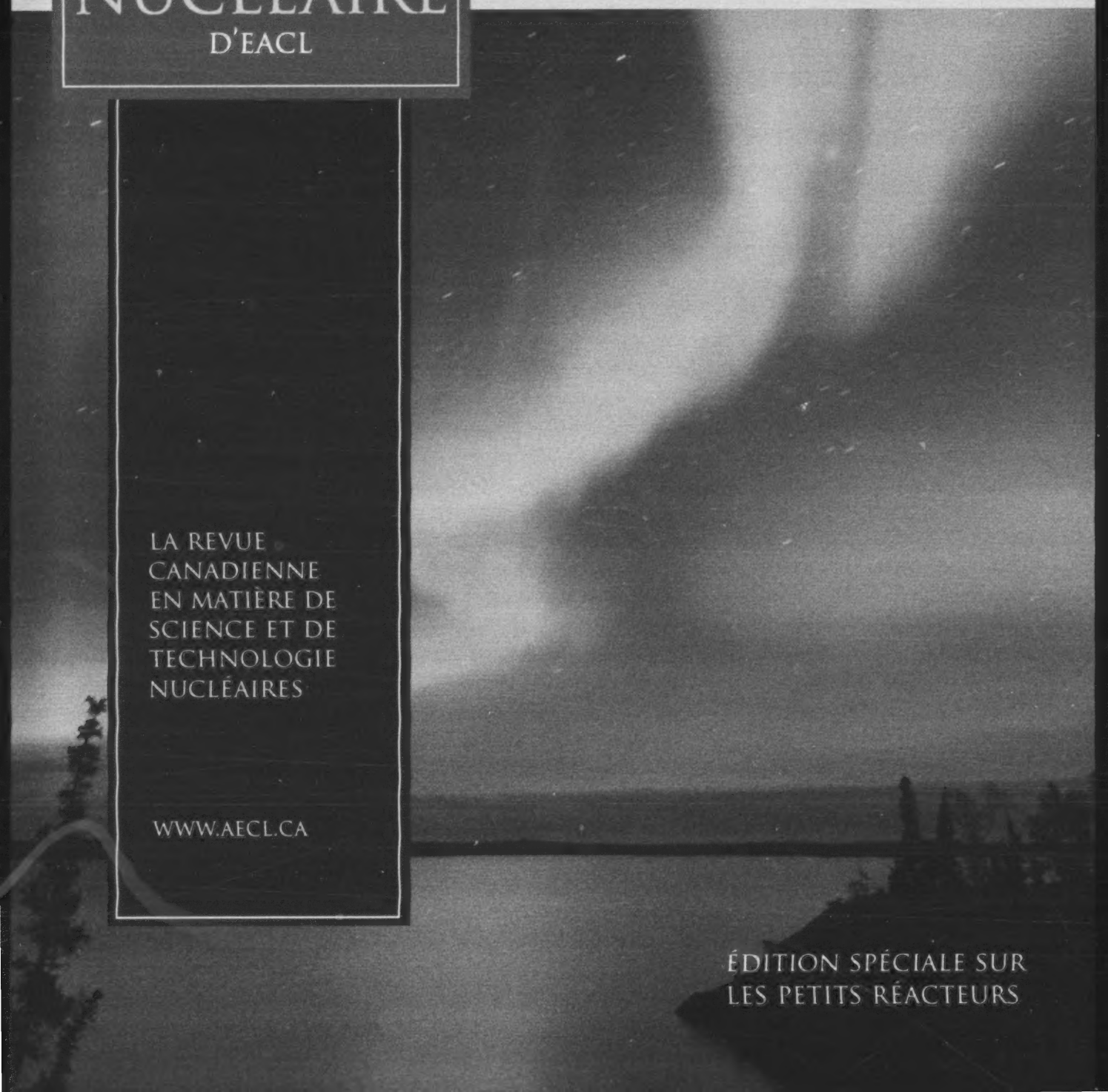
AECL
EACL

REVUE SCIENTIFIQUE

NUCLEAIRE

D'EACL

VOLUME 1, NUMÉRO 2
DÉCEMBRE 2012



LA REVUE CANADIENNE EN MATIÈRE DE SCIENCE ET DE TECHNOLOGIE NUCLÉAIRES

WWW.AECL.CA

ÉDITION SPÉCIALE SUR LES PETITS RÉACTEURS

La Revue scientifique nucléaire d'EACL présente d'importantes innovations en matière de science et de technologie nucléaires qui cadrent avec les programmes de base d'EACL. La revue publie des articles novateurs et originaux ainsi que des notes techniques sur divers sujets : industrie nucléaire (technologie CANDU), sécurité et garanties nucléaires, énergie propre et sûre (incluant les réacteurs de quatrième génération), technologie de l'hydrogène, petits réacteurs, fusion, énergie durable et matériaux de pointe, santé, isotopes et rayonnement, sciences environnementales. Les articles examinés par des pairs et acceptés devraient couvrir différentes disciplines telles que l'ingénierie, la chimie, la physique et la biologie.

La Revue scientifique nucléaire d'EACL invite les scientifiques et les chercheurs universitaires de différentes disciplines du Canada et du reste du monde à lire sa nouvelle publication, qui est le reflet de la collaboration entre les chercheurs scientifiques et les travailleurs de l'industrie.

Énergie atomique du Canada limitée (EACL) est le laboratoire national du Canada pour les sciences et la technologie nucléaires. Depuis plus de 50 ans, EACL est un chef de file mondial dans le développement d'applications pacifiques et novatrices de la technologie nucléaire, grâce à son expertise en physique, en métallurgie, en chimie, en biologie et en ingénierie.

Aujourd'hui, EACL maintient son engagement envers les Canadiens et le monde entier afin qu'ils bénéficient des retombées des sciences et de la technologie nucléaires sur le plan de l'énergie, de la santé, de l'environnement et de l'économie, tout en sachant que la sécurité et la sûreté nucléaires sont assurées.

RÉDACTEUR INTÉRIMAIRE
G.L. Strati, directrice, mise au point de l'équipement mécanique, EACL

CORÉDACTEURS
F.M. Courtel, Technologie des isotopes de l'hydrogène, EACL
A. Khalifa, Mise au point de l'équipement mécanique, EACL

CORÉDACTEURS INVITÉS
P. Poruks, Sûreté du fonctionnement et des permis, EACL
D. Guzonas, Chimie et corrosion des réacteurs, EACL
F. Adams, Calcul de la physique des réacteurs, EACL
B. Bromley, Calcul de la physique des réacteurs, EACL
X. Wang, Physique appliquée, EACL
M. Brown, Sûreté du combustible et des canaux de combustible, EACL
D. Sears, Mise au point du combustible, EACL

COMITÉ DE RÉDACTION
C. Butler, directrice, opérations de R&D, EACL
R. Didsbury, directeur général, EACL
G.L. Strati, directrice, mise au point de l'équipement mécanique, EACL
B. Sur, directeur, sciences nucléaires, EACL

PHOTO DE COUVERTURE
Photo d'une aurore boréale au dessus du lac Blachford, gracieuseté d'Enviro Foto / Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest

AVIS DE DÉGAGEMENT DE RESPONSABILITÉ
Les opinions, constatations et conclusions ou recommandations exprimées dans les articles publiés dans la Revue scientifique nucléaire d'EACL sont celles des auteurs et ne rendent pas nécessairement compte des opinions d'Énergie Atomique du Canada Limitée.

Copyright © 2012 Énergie atomique du Canada limitée. Tous droits réservés.

REVUE SCIENTIFIQUE
NUCLEAIRE
D'EACL

VOLUME 1, NUMÉRO 2
DÉCEMBRE 2012

ARTICLES SUR INVITATION

Considérations sur la résistance à la prolifération de petits réacteurs modulaires isolés
J. Whitlock et J. Sprinkle
- 1 -

ARTICLE INTÉGRAL

Le réacteur SuperSafe© : un petit RESC modulaire à tubes de pression
M. Yetisir, J. Pencer, M. McDonald, M. Gaudet, J. Licht et R. Duffey
- 2 -

Défis des pratiques d'octroi de licences de PRM
Kristiina Söderholm
- 3 -

Une méthode Monte-Carlo pour l'analyse des expériences de substitution de réseaux mixtes utilisant le code MCNP
G. B. Wilkin, B.P. Bromley et D.G. Watts
- 4 -

NOTES TECHNIQUES

Calculs Monte-Carlo appliqués à l'analyse du réacteur SLOWPOKE en entier
T.S. Nguyen, G.B. Wilkin et J.E. Atfield
- 5 -

Calculs Monte-Carlo appliqués à l'analyse de la physique du réacteur NRU et du rayonnement
T.S. Nguyen et G.B. Wilkin
- 6 -

État des activités de conversion du cœur à UHE en cœur à UFE du réacteur SLOWPOKE de la Jamaïque
J. Preston et C. Grant
- 7 -

CONSIDÉRATIONS SUR LA RÉSISTANCE À LA PROLIFÉRATION DE PETITS RÉACTEURS MODULAIRES ISOLÉS

J. Whitlock[1]* et J. Sprinkle[2]

[1]Énergie atomique du Canada limitée, Laboratoires de Chalk River, Chalk River, Ontario, Canada, K0J 1J0
[2]Agence internationale de l'énergie atomique, Vienne, Autriche

Info article
Mots clés : PRM, non-prolifération, garanties, résistance à la prolifération, PRPP
Historique de l'article : reçu le 26 octobre 2012, accepté le 12 décembre 2012, disponible en ligne le 09 janvier 2013
*Auteur-ressource : (613) 584-8811, whitlockj@aecl.ca

RÉSUMÉ
Les petits réacteurs modulaires isolés de faible de puissance (de l'ordre de 10 MWe, appelés ici très petits réacteurs modulaires ou TPRM) présentent les avantages et les défis uniques de la résistance à la prolifération. Relever ces défis de la façon la plus efficace peut être non seulement souhaitable, mais nécessaire pour le développement de cette technologie. Il est important d'intégrer des garanties très tôt au début du processus de conception (garanties par design), conjointement avec, entre autres, des facteurs économiques, de sûreté et de sécurité est importante. Cette approche implique la possibilité d'augmenter la surveillance des données opérationnelles à des fins de vérification (transparence opérationnelle), ce qui peut devenir un aspect utile de l'approche en matière de mesures de garanties pour de tels systèmes.

LE RÉACTEUR SUPERSAFE(C) : UN PETIT RESC MODULAIRE À TUBES DE PRESSION

M. Yetisir[1], J. Pencer[1]*, M. McDonald[1], M. Gaudet[1], J. Licht[1] et R. Duffey[2]

[1] Énergie atomique du Canada limitée, Laboratoires de Chalk River, Chalk River, Ontario, Canada, K0J 1J0
[2]DSM Associates Inc., Idaho, USA

Info article
Mots clés : réacteur SuperSafe(C) (SSR), réacteur refroidi à l'eau supercritique (RESC), GEN-IV, GIF, petit réacteur modulaire (PRM)
Historique de l'article : reçu le 15 octobre 2012, accepté le 17 décembre 2012, disponible en ligne le 09 janvier 2013
*Auteur-ressource : (613) 584-8811, poste 46267, pencerj@aecl.ca

RÉSUMÉ
Le réacteur SuperSafe(C) (SSR) proposé est une petite version modulaire du réacteur refroidi à l'eau supercritique (RESC) canadien. Le réacteur RESC est la principale contribution canadienne aux efforts de recherche et développement du Forum International de la Génération-IV (GIF de la GEN-IV) portant sur l'étude et le déploiement éventuel de filières énergétiques nucléaires perfectionnées. Tous les concepts GEN-IV, notamment le réacteur RESC, présentent une sûreté accrue, des facteurs économiques améliorés, une durabilité améliorée et une plus grande sûreté par rapport aux réacteurs actuels. Le concept de réacteur SuperSafe(C) (SSR) comporte les caractéristiques avancées du réacteur RESC dans un cœur plus petit, qui peut être déployé dans des régions où la population est dispersée et où il serait pratiquement impossible d'exploiter un réacteur RESC complet ou un grand réseau énergétique centralisé. Cet article présente un survol du concept de réacteur SSR.

DÉFIS DES PRATIQUES D'OCTROI DE LICENCES DE PRM

Kristiina Söderholm

Fortum Power, Espoo, Finlande, P.O.Box 100, FI-00048 FORTUM, Finlande

Info article
Mots clés: petits réacteurs modulaires, processus d'octroi de licence, octroi de licence de centrale nucléaire
Historique de l'article : reçu le 15 octobre 2012, accepté le 18 décembre 2012, disponible en ligne le 09 janvier 2013
*Auteur-ressource : +358 40 563 806, kristiina.soderholm@fortum.com

RÉSUMÉ

Cet article vise à améliorer la compréhension, et ce à haut niveau, des processus d'octroi de licences pour les centrales nucléaires en Finlande, en France, au Royaume-Uni, au Canada et aux É.-U. Ces pays ont été choisis pour cette étude en raison de leurs différents processus d'octroi de licences et des mesures récentes prises lors de la construction des nouvelles centrales nucléaires. Après examen de leurs similitudes et de leurs différences, des caractéristiques appropriées à l'octroi de licences de petits réacteurs modulaires (PRM) peuvent être mises en relief et suggérées. Certains des processus d'octroi de licences étudiés présentent des éléments déjà bien adaptés aux PRM, mais tous ces différents processus nationaux peuvent tirer profit de l'étude des exigences de l'octroi de licences spécifiques aux PRM et de leur mise en œuvre. Les principales caractéristiques des PRM dont il faut tenir compte lors de l'octroi de licence sont la normalisation de la conception, la modularité, la production à grande échelle et la construction en série. La modularité se divise en deux catégories : la première est celle d'une installation à une unité construite à partir de modules conçus séparément, comme dans le cas du processus de construction de la centrale nucléaire Westinghouse AP-1000; la deuxième est celle d'une structure d'installation composée de nombreux modules de réacteurs qui sont fabriqués en usines et installés au besoin, comme dans le cas de la conception du PRM NuScale Power. Les bénéfices intégrales des calendriers de construction courts ne peuvent pas être réalisées si le long processus d'octroi de licences prolonge la mise en exploitation et l'atteinte d'un fonctionnement à pleine puissance.

Cette étude porte particulièrement sur une meilleure compréhension du déploiement possible des PRM dans les petits pays nucléaires, comme la Finlande qui dispose actuellement de quatre centrales nucléaires en exploitation. Le processus d'octroi de licences doit être simple et transparent afin que le déploiement des PRM soit économiquement viable.

Cet article, basé sur les informations publiquement disponibles et des entrevues avec des experts, dresse un survol des différents processus d'octroi de licences et de leurs étapes principales. Une comparaison, à haut niveau, des étapes d'octroi de licences a été effectuée. Certains aspects du processus d'octroi de licences de l'industrie aéronautique ont également été étudiés et certaines pratiques ont été analysées comme pouvant être éventuellement appliquées dans l'octroi de licences dans le domaine nucléaire.

Tous les processus d'octroi de licences actuels ont été trouvés très lourds et de longue haleine; une rationalisation serait possible sans compromettre la sécurité ou la nécessité de la participation du public au processus d'octroi de licences. Certains exemples de modifications pouvant être appliquées aux PRM sont présentés.

Une discussion approfondie des modèles d'octroi de licences propres aux PRM et sur les moyens de les simplifier et de les harmoniser sera nécessaire dans un avenir rapproché en Europe également. Cela constituera la continuation naturelle des efforts d'harmonisation entrepris en regard des grands réacteurs existants et nouveaux.

UNE MÉTHODE MONTE-CARLO POUR L'ANALYSE DES EXPÉRIENCES DE SUBSTITUTION DE RÉSEAUX MIXTES UTILISANT LE CODE MCNP

G. B. Wilkin*, B.P. Bromley et D.G. Watts

Énergie atomique du Canada limitée, Laboratoires de Chalk River, Chalk River, Ontario, Canada, K0J 1J0

Info article
Mots clés : physique des réacteurs, expériences de substitution, analyse de substitution, Monte-Carlo
Historique de l'article : reçu le 15 octobre 2012, accepté le 13 décembre 2012, disponible en ligne le 09 janvier 2013
*Auteur-ressource : (613) 584-3311, poste 44259, wilkinb@aecl.ca

RÉSUMÉ
Les expériences de criticalité impliquant une petite région de combustible d'essai substituée dans un réseau de référence ont habituellement été analysées au moyen de codes de diffusion permettant d'en extraire des paramètres physiques du réseau du combustible d'essai, comme l'instabilité critique et le biais connexe du calcul du coefficient de multiplication des neutrons (k_{eff}). Une méthode, initialement mise au point en 2006, utilise une version du code MCNP5 qui a été modifiée pour permettre aux analystes de modifier sélectivement la production de neutrons de fission dans différentes parties du modèle. Cet article décrit la modification du code MCNP5, montre au moyen de plusieurs exemples utilisant des données provenant de l'installation de criticalité ZED-2, comment s'effectue l'analyse des expériences de substitution, et quantifie les incertitudes prévues de la méthode.

CALCULS MONTE-CARLO APPLIQUÉS À L'ANALYSE DU RÉACTEUR SLOWPOKE EN ENTIER

T.S. Nguyen*, G.B. Wilkin et J.E. Atfield

Énergie atomique du Canada limitée, Laboratoires de Chalk River, Chalk River, Ontario, Canada, K0J 1J0

Info article
Mots clés : SLOWPOKE, physique des réacteurs, analyse de réacteur entier, suivi du cœur, Monte-Carlo
Historique de l'article : reçu le 17 octobre 2012, accepté le 12 décembre 2012, disponible en ligne le 09 janvier 2013
*Auteur-ressource : (613) 584-3311 poste 44194, nguyens@aecl.ca

RÉSUMÉ

Des simulations Monte-Carlo sont appliquées à l'analyse du réacteur SLOWPOKE en entier. La contre-réaction de la réactivité en fonction de la température calculée au moyen du code MCNP du cœur à uranium hautement enrichi (UHE) ou à uranium faiblement enrichi (UFE) correspond bien aux données expérimentales avec un biais de k_{eff} égal à +3,3 mk pour un cœur à UHE et à +6 mk pour un cœur à UFE. Deux méthodes fondées sur des codes tiers existants ont été mises au point pour suivre les cœurs : 1) code MCNP (pour le calcul du transport) conjointement avec WIMS-EACL (pour la progression de la combustion du combustible), et 2) SERPENT (qui combine les capacités en matière de transport et de combustion du combustible). Les deux méthodes permettent d'obtenir des résultats très proches des données expérimentales relatives à l'excédent de réactivité du cœur et à la distribution de la puissance détaillée en fonction de la combustion du combustible et de l'homogénéisation de la réactivité.

CALCULS MONTE-CARLO APPLIQUÉS À L'ANALYSES DE LA PHYSIQUE DU RÉACTEUR NRU ET DU RAYONNEMENT

T.S. Nguyen* et G.B. Wilkin

Énergie atomique du Canada limitée, Laboratoires de Chalk River, Chalk River, Ontario, Canada, K0J 1J0

Info article
Mots clés : MCNP, NRU, physique des réacteurs, physique des rayonnements
Historique de l'article : reçu le 25 juin 2012, accepté le 12 décembre 2012, disponible en ligne le 09 janvier 2013
*Auteur-ressource : (613) 584-3311 poste 44194, nguyens@aecl.ca

RÉSUMÉ
Le code MCNP (Monte-Carlo N-Particules) a été utilisé de façon satisfaisante pour les calculs de réacteur et de physique des rayonnements visant à supporter le fonctionnement du réacteur NRU et de son analyse. Le code MCNP permet une modélisation 3D très détaillée du réacteur et de ses composants, le calcul de la transmission des photons (en plus des neutrons) et la modélisation dans l'espace de tous les endroits, ce qui dépasse les capacités des méthodes neutroniques déterministes utilisées pour le réacteur NRU. Alors que le modèle simple à cellule unique est efficace pour une analyse locale n'importe où dans le réacteur NRU, le modèle complexe du réacteur entier est nécessaire pour les calculs de la physique du cœur et du rayonnement hors de celui-ci. En complétant, ajustant ou étalonnant les résultats issus des codes du réacteur NRU existants, les calculs MCNP permettent de mieux s'assurer que le réacteur NRU reste dans les limites de la licence.

ÉTAT DES ACTIVITÉS DE CONVERSION DU CŒUR À UHE EN CŒUR À UFE DU RÉACTEUR SLOWPOKE DE LA JAMAÏQUE

J. Preston* et C. Grant

International Centre for Environmental and Nuclear Sciences, Mona campus, University of the West Indies

Info article
Mots clés : conversion du cœur du réacteur SLOWPOKE de la Jamaïque, UHE, UFE
Historique de l'article : reçu le 9 novembre 2012, accepté le 13 décembre 2012, disponible en ligne le 09 janvier 2013
*Auteur-ressource : (876) 927-1777, john.preston@uwimona.edu.jm

RÉSUMÉ

Le réacteur SLOWPOKE de la Jamaïque a été exploité par l'International Centre for Environmental and Nuclear Sciences, Mona campus, University of the West Indies depuis 1984, surtout à des fins d'analyse de l'activation neutronique. Dans son utilisation actuelle, le cœur à UHE pourra fonctionner encore 14 ans avant que l'ajout d'un grand tore de béryllium ne soit nécessaire pour prolonger sa durée de vie de 15 ans.

Cependant, dans l'esprit du programme RERTR (Reduced Enrichment for Research and Test Reactors), la décision a été prise en 2003 de convertir le cœur à UHE en cœur à UFE, en harmonie avec ceux des installations SLOWPOKE de l'École polytechnique et du RMC. Cet article indique l'état actuel des activités de conversion, notamment des principaux enjeux réglementaires et touchant la fabrication du combustible, qui ont notablement progressé pendant la dernière année. Un calendrier d'achèvement du processus est fourni et, si la fabrication du combustible est effectuée pendant les 18 mois prévus, la conversion du cœur devrait être terminée vers la fin de 2014.